

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
18. April 2002 (18.04.2002)

PCT

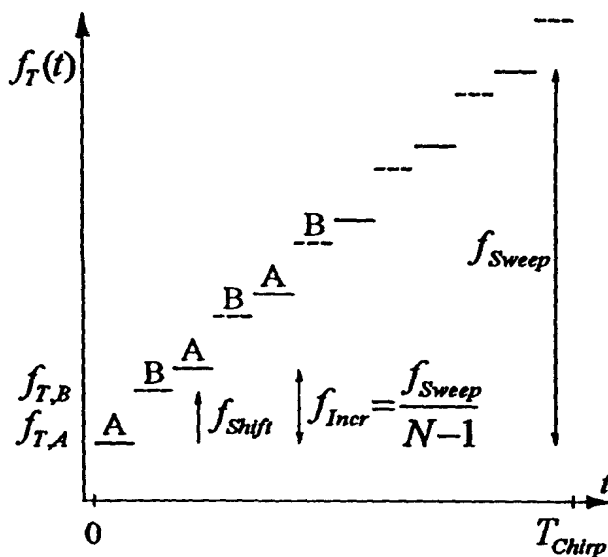
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/31529 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G01S 7/00**
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/03857
- (22) Internationales Anmeldedatum:
10. Oktober 2001 (10.10.2001)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
100 50 278.4 10. Oktober 2000 (10.10.2000) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **S.M.S SMART MICROWAVE SENSORS GMBH**
[DE/DE]; Rebenring 33, 38106 Braunschweig (DE).
- (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **MENDE, Ralph**
[DE/DE]; Husarenstrasse 36, 38102 Braunschweig
(DE). **ROHLING, Hermann** [DE/DE]; Dr.-Kirchheimer
Strasse 11, 38304 Wolfenbüttel (DE). **MEINECKE,**
Marc-Michael [DE/DE]; Hainholzweg, 21077 Hamburg
(DE).
- (74) Anwalt: **LINS, Edgar**; Gramm, Lins & Partner GbR,
Theodor-Heuss-Strasse 1, 38122 Braunschweig (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): CA, JP, US.
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, SE, TR).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DETERMINING SEPARATION AND RELATIVE SPEED OF A DISTANT OBJECT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR BESTIMMUNG VON ABSTAND UND RELATIVGESCHWIN-
DIGKEIT EINES ENTFERNTEN OBJEKTES



(57) Abstract: The determination of separation (R) and relative speed (v) of at least one object which is distant from an observation point can be achieved by sending electromagnetic signals from the observation point, with a frequency shift over a modulation range (f_{Sweep}), in the form of signal segments (A, B) during a measuring interval, with a frequency separation (f_{Shift}) from each other which are transmitted alternately, the echo signals from which are detected after reflecting from the object. The phase difference ($\Delta\phi$) of the echo signals arising from each signal segment (A, B) is detected. Said determination occurs with short reaction time and high precision whereby the signal segments (A, B) are transmitted with a stepwise shift each time by a frequency step (f_{Incr}) over the modulation range (f_{Sweep}) and at least one sampled value for determination of the phase difference ($\Delta\phi$) for each signal segment is taken.

(57) Zusammenfassung: Die Bestimmung von Abstand (R) und Relativgeschwindigkeit (v) wenigstens

eines von einem Beobachtungspunkt entfernten Objekts mit Hilfe von vom Beobachtungspunkt ausgesandten elektromagnetischen, während eines Messintervalls über einen Modulationsbereich (f_{Sweep}) in ihrer Frequenz verschobenen Signalen in Form von abwechselnd ausgesandten, zueinander einen Frequenzabstand (f_{Shift}) aufweisenden Signalabschnitten (A, B), deren Echosignale nach einer Reflexion und dem Objekt detektiert werden, wobei die Phasendifferenz ($\Delta\phi$) der aus den jeweiligen Signalabschnitten (A, B) entstandenen Echosignale ermittelt wird, gelingt mit kurzer Reaktionszeit und hoher Genauigkeit dadurch, dass die Signalabschnitte (A, B) über den Modulationsbereich (f_{Sweep}) um jeweils einen Frequenzschritt (f_{Incr}) stufenweise verschoben ausgesandt werden und dass für jeden Signalabschnitt wenigstens ein Abtastwert zur Bestimmung der Phasendifferenz ($\Delta\phi$) entnommen wird.

WO 02/31529 A2

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten CA, JP, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung von Abstand und Relativgeschwindigkeit eines entfernten Objektes

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung von Abstand und Relativgeschwindigkeit wenigstens eines von einem Beobachtungspunkt entfernten Objekts mit Hilfe von vom Beobachtungspunkt ausgesandten elektromagnetischen, während eines Messintervalls über einen Modulationsbereich in ihrer Frequenz verschobenen Signalen in Form von abwechselnd ausgesandten, zueinander einen Frequenzabstand aufweisenden Signalabschnitten, deren Echosignale nach einer Reflexion an dem Objekt detektiert werden, wobei die Phasendifferenz der aus den jeweiligen Signalabschnitten entstandenen Echosignale ermittelt wird.

Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zur Bestimmung von Abstand und Relativgeschwindigkeit wenigstens eines von einem Beobachtungspunkt entfernten Objekts mit Hilfe einer elektromagnetischen Sendeeinrichtung zur abwechselnden Aussendung während eines Messintervalls über einen Modulationsbereich in ihrer Frequenz verschobenen Signalen in Form von abwechselnd ausgesandten, zueinander einen Frequenzabstand aufweisenden Signalabschnitten und einer Empfangseinrichtung zum Empfang der von dem Objekt reflektierten Signalabschnitte, wobei die Empfangseinrichtung eine Einrichtung zur Feststellung der Phasendifferenz der aus den jeweiligen Signalabschnitten entstandenen Echosignale aufweist.

Das Hauptanwendungsgebiet der vorliegenden Erfindung liegt in der Verwendung im Automobilbereich, wo derartige Verfahren zur adaptiven Zielführung mit 77 GHz-Radaren bekannt sind. Für Sicherheitsanwendungen wie die Verhinderung von Zusammenstößen oder ein führerloses Fahren wird eine hohe Zuverlässigkeit und geringe Reaktionszeit benötigt, die in den bisherigen Zielführungssystemen nicht realisiert ist.

Das eingangs erwähnte gattungsgemäße Verfahren und die entsprechende Vorrichtung beruhen auf der Aussendung von Signalabschnitten mit einer festen Frequenz, wobei die vom Objekt reflektierten Signalabschnitte regelmäßig mit der entsprechenden Sendefrequenz gemischt werden, sodass im Basisband ein Messsignal für die Dopplerfrequenz bei bewegten Objekten entsteht.

Bei einer Frequenz-Shift-Codierung (Frequency Shift Keying - FSK) werden Signalabschnitte mit zwei verschiedenen Frequenzen während eines sogenannten coherenten Verarbeitungsintervalls (Coherent Processing Interval – CPI) ausgesandt. Das Echosignal kann beispielsweise mit einem Homodyn-Empfänger in das Basisband umgesetzt werden. Der Frequenzabstand zwischen den beiden Frequenzen ist dabei sehr klein gegenüber den Frequenzen selbst. Das zeitdiskrete Empfangssignal wird innerhalb jedes CPI Fouriertransformiert und mit Hilfe eines Schwellwertdetektors detektiert. Für die Detektion wird vorzugsweise das CFAR-Verfahren angewendet. Die Echosignale der beiden Frequenzen führen zu einer gleichen Dopplerfrequenzposition, da die Differenzfrequenz zwischen den beiden Frequenzen sehr klein gegenüber den Frequenzen selbst ist. Aufgrund der unterschiedlichen Frequenzen ergeben sich für beide Echosignale jedoch unterschiedliche Phaseninformationen. Die Phasendifferenz $\Delta\phi$ bildet die Basis für die Bestimmung des Abstandes R. Es gilt:

$$R = - \frac{c \cdot \Delta\phi}{4 \pi \cdot f_{\text{Step}}}$$

wobei f_{Step} der Frequenzabstand zwischen den beiden Signalabschnitten ist.

Dieses Verfahren lässt sich relativ einfach durch eine entsprechende Modulation eines spannungsgesteuerten Oszillators (Voltage Control Oscillator – VCO) realisieren. Allerdings erlaubt das Verfahren keine Entfernungsauflösung von Objekten gleicher oder annähernd gleicher Relativgeschwindigkeit in Messrichtung. Für Automobilanwendungen ist dieses Verfahren ungeeignet, da z.B. feststehende Ziele, wie z.B. Verkehrsschilder, Laternen, Bäume, zu vielfachen,

nicht voneinander zu trennenden Echosignalen führen. Auch sich bewegende Objekte können, wenn sie eine annähernd gleiche Relativgeschwindigkeit zur Sendeeinrichtung haben, nicht in der Entfernung aufgelöst werden. Ein solcher Zustand, der ein derartiges Auflösungsproblem beinhaltet, ist für eine automatische Auswertung nicht erkennbar, sodass Fehl-auswertungen unvermeidlich sind.

Ein anderes bekanntes Verfahren verwendet eine lineare Frequenzmodulationstechnik (LFM), bei der die Sendefrequenz mit einer dreieckigen Wellenform über einen Modulationsbereich f_{Sweep} moduliert wird. Die Bereichsauflösung

$$\Delta R = \frac{c}{2 \cdot f_{\text{Sweep}}}$$

führt bei einem einmaligen Überstreichen des Modulationsbereichs zu einer mehrdeutigen Messung für den Abstand und die Relativgeschwindigkeit. Wenn innerhalb eines einzelnen CPI das abgemischte Empfangssignal digitalisiert und Fourier-transformiert wird, entsteht im Fourierspektrum ein Peak an der Stelle κ . Die Mehrdeutigkeiten für den Abstand und die Geschwindigkeit können durch folgende Gleichungen dargestellt werden:

$$\kappa = \frac{v}{\Delta v} - \frac{R}{\Delta R} \quad \Longleftrightarrow \quad \frac{v}{\Delta v} = \frac{R}{\Delta R} + \kappa,$$

wobei Δv die Geschwindigkeitsauflösung angibt, die sich aus der CPI-Länge T_{Chirp}

ergibt ($\Delta v = \frac{\lambda}{2 \cdot T_{\text{Chirp}}}$).

Wegen der Mehrdeutigkeiten werden mehrere Messungen mit unterschiedlichen Steigungen der Frequenzveränderung ausgeführt. Dadurch wird allerdings die Messzeit in unerwünschter Weise verlängert, was zu einer Beeinträchtigung der für Sicherheitsanwendungen gewünschten kurzen Reaktionszeit führt.

Durch die US 5,963,163 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs erwähnten Art bekannt. Dabei werden Signalabschnitte ausgesandt, die aus parallelen, abwechselnd ausgesandten Modulationsrampen bestehen, die um
5 eine feste Frequenz Δf voneinander getrennt sind, wobei die Differenzfrequenz sehr klein gegenüber der Grundfrequenz der Signale ist. Der Abstand des Objekts ergibt sich dabei ausschließlich als Funktion der Phasendifferenz zwischen den Echosignalen der beiden Rampensignale, die in Form der Modulationsrampen als Signalabschnitte ausgesandt werden. Die empfangenen Signale
10 werden sofort voneinander getrennt und in unterschiedlichen analogen Kanälen verarbeitet, wobei eins der Signale um die Impulsbreite der ausgesandten Signale analog verzögert wird. Das Auswertungsverfahren besteht darin, über die Distanzabschätzung mittels der gemessenen Phasenverschiebung $\Delta\phi$ die bei einer Rampenmessung (LFM) auftretenden Mehrdeutigkeiten in der Abstands-
15 Geschwindigkeits-Ebene zu eliminieren. Dieses bekannte Verfahren ist aufwändig und messtechnisch problematisch. Die Rekonstruktion der in unterbrochenen Signalabschnitten übersandten Messsignale in den analogen Kanälen erfordert eine aufwändige Glättung. Darüber hinaus erzeugen bereits geringe Fehler in der Zeitsteuerung der Abtastung (am Ende der Rampenabschnitte)
20 Phasenfehler, die unmittelbar einen Messfehler bewirken.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, die Bestimmung von Abstand und Relativgeschwindigkeit mit einer verbesserten Messsicherheit bei kurzer Reaktionszeit zu ermöglichen.

25 Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einem Verfahren der eingangs erwähnten Art dadurch gelöst, dass die Signalabschnitte über den Modulationsbereich jeweils einen Frequenzschritt stufenweise verschoben ausgesandt werden und dass für jeden Signalabschnitt wenigstens ein Abtastwert zur Bestimmung
30 der Phasendifferenz entnommen wird.

Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Lösung der Aufgabe ist zur Durchführung des Verfahrens eingerichtet.

Die erfindungsgemäße Bestimmung von Abstand und Relativgeschwindigkeit erlaubt überraschend einfach eindeutige Abstands- und Geschwindigkeitsmessungen. Erfindungsgemäß werden die beiden Signalabschnitte mit unterschiedlichen Frequenzen schrittweise über den endlichen Modulationsbereich frequenzmoduliert. Das empfangene Echosignal kann in üblicher Weise in das Basisband heruntergemischt und am Ende jedes Frequenzschrittes ausgewertet werden.

Jede der beiden Signalsequenzen kann separat durch eine Fouriertransformation und eine Schwellwertdetektion ausgewertet werden. Ein einzelnes Objekt mit einem bestimmten Abstand und einer bestimmten Geschwindigkeit wird in beiden Sequenzen bei dem selben ganzzahligen Index $\kappa = \kappa_A = \kappa_B$ im fouriertransformierten Ausgangssignal der beiden ausgewerteten Spektren detektiert. In beiden Signalsequenzen werden dieselben Abstands- und Geschwindigkeits-Mehrdeutigkeiten, die oben erwähnt worden sind, auftreten. Die gemessenen Phasen φ_A und φ_B der beiden komplexen Spektralpeaks unterscheiden sich und enthalten die differenzierende Abstands- und Geschwindigkeitsinformation, die zur Auflösung der Mehrdeutigkeit verwendet werden kann. Aufgrund der kohärenten Messtechnik in den beiden Sequenzen kann die Phasendifferenz $\Delta\varphi = \varphi_B - \varphi_A$ für die Abstandsbestimmung und die Geschwindigkeitsbestimmung ausgewertet werden. Die Phasendifferenz $\Delta\varphi$ kann analytisch durch die folgende Gleichung beschrieben werden:

$$\Delta\varphi = \frac{\pi}{N-1} \cdot \frac{v}{\Delta v} - 4\pi \cdot R \cdot \frac{f_{\text{Shift}}}{c},$$

wobei N die Anzahl der Frequenzschritte in jeder Sendesignalsequenz A und B der beiden verschiedenen Frequenzen ist. Bei der ersten Berechnung ist $\Delta\varphi$ mehrdeutig, jedoch können die Mehrdeutigkeiten durch die Kombination der Messergebnisse gemäß den obigen Gleichungen aufgelöst werden. Der

Schnittpunkt der beiden Messresultate führt zu einer eindeutigen Bestimmung des Abstands und der Relativgeschwindigkeit.

5 Während bei der herkömmlichen Frequenzshift-Codierung (FSK) die Signalabschnitte der beiden Frequenzen jeweils so lange ausgesendet werden, dass die empfangenen Echsignale mit der gewünschten Abtastrate (z.B. 64 samples) vollständig abgetastet und die Abtastwerte der zugehörigen Auswertungseinrichtung (z.B. Fouriertransformation) zugeleitet werden, bevor die Abtastung des folgenden Signalabschnitts der anderen Frequenz durchgeführt und die
10 Abtastwerte der dazu gehörenden anderen Auswertungseinrichtung zugeführt werden, sind die erfindungsgemäß verwendeten Signalabschnitte wesentlich kürzer. Die Umschaltung auf die andere Frequenz findet statt, bevor alle nötigen Abtastwerte für die eine Frequenz gesammelt worden sind. Im bevorzugten Fall wird für jeden Signalabschnitt nur ein Abtastwert detektiert, sodass die Ab-
15 tastwerte abwechselnd den Auswertungseinrichtungen der einen und der anderen Frequenz zugeleitet werden, bis in einem Messintervall die benötigte Anzahl von Abtastwerten für die beiden Frequenzen erhalten worden sind.

20 Durch diese abwechselnd verwobene Aussendung der Teilsignale lassen sich gute Entfernungsaufösungen mit kurzer Messzeit realisieren und auch dynamische Zielbewegungen gut detektieren.

Durch die erfindungsgemäße Aussendung von Signalabschnitten mit einer konstanten Frequenz ergeben sich gegenüber der Verwendung von Modulationsrampen, wie sie gemäß US 5,963,163 ausgesandt werden, erhebliche Vorteile.
25 Für jeden Frequenzschritt, also für jeden Signalabschnitt, lässt sich ein stationärer Phasenwert feststellen, während sich bei Modulationsrampen die Phasenwerte kontinuierlich verändern. Dadurch ist es möglich, die Phasenwerte abzutasten und für die empfangenen Echo-Signalabschnitte sequenziell in einem gemeinsamen analogen Kanal zu verarbeiten, bis eine Analog-Digital-
30 Wandlung für die Durchführung einer bevorzugten Fouriertransformation vorgenommen wird. Im Anschluss an die Analog-Digital-Wandlung werden die Werte

für die verschiedenen Echosignale separat ausgewertet, vorzugsweise der Fouriertransformation unterzogen, um durch die Feststellung der Frequenzpeaks und deren Phasenlage die Phasendifferenz zwischen den ausgesandten Signalen festzustellen.

5

Wie unten näher beschrieben werden wird, führt das erfindungsgemäße Verfahren zu einer mehrdeutigen Abhängigkeit sowohl der gemessenen Entfernung als auch der gemessenen Geschwindigkeit von der Phasendifferenz $\Delta\phi$ und der Frequenz. Die Eindeutigkeit des Messergebnisses wird durch eine Kombination
10 der Messergebnisse für den Abstand und die Geschwindigkeit erzielt, in dem der Schnittpunkt der Mehrdeutigkeitsgeraden für beide Messungen bestimmt wird.

Für eine Vereinfachung der Berechnung ist es zweckmäßig, wenn der Abstand
15 der beiden Frequenzen der Signale über den gesamten Modulationsbereich gleich bleibt. Prinzipiell ist eine geringe Veränderung der beiden Frequenzen, d. h. ein unterschiedlicher Frequenzhub für die beiden Frequenzen akzeptabel und ggf. mit Vorteil ausnutzbar.

Bevorzugt ist ferner, dass für jedes Aussenden der Signalabschnitte der beiden
20 Frequenzen die Verschiebung um einen Frequenzschritt vorgenommen wird, da die Aussendung von Signalabschnitten mit gleicher Frequenz lediglich redundante Messungen entstehen würden.

Für eine vereinfachte Auswertung ist es ferner zweckmäßig, wenn der Frequenzschritt dem Doppelten des Abstands der beiden Frequenzen entspricht.
25

Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich sowohl für eine kontinuierliche Aussendung der abwechselnden Signalabschnitte als auch für einen Impulsbetrieb, bei dem zwischen der Aussendung eines Signalabschnitts der einen Frequenz und der Aussendung eines Signalabschnitts der anderen Frequenz ein zeitlicher Abstand eingehalten wird. Soll das nach dem Aussenden des Signal-
30

abschnitts empfangene Signal heruntergemischt werden, kann hierfür der Sendeoszillator mit der Trägerfrequenz weiter laufen.

- Die erfindungsgemäße Vorgehensweise lässt sich selbstverständlich auch mit
- 5 mehr als zwei Signalen ausführen, deren Signalabschnitte abwechselnd ausgesandt werden, um höhere Messsicherheiten durch die Auswertung mehrerer Phasenunterschiede zu erzielen.

Die Erfindung soll im Folgenden anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Es zeigen:

Figur 1 das Prinzip der erfindungsgemäß ausgesendeten Wellenformen

5

Figur 2 ein graphisch dargestelltes Prinzip zur Lösung der Mehrdeutigkeiten der Messungen

Figur 3 ein Beispiel für eine optimierte erfindungsgemäße Wellenform

10

Figur 4 ein Diagramm gemäß Figur 2 für einen optimierten Frequenzschritt.

Figur 1 zeigt Signalabschnitte A, die von einer Ausgangsfrequenz $f_{T, A}$ jeweils um einen Frequenzschritt f_{Incr} zueinander versetzt sind. Die Signalabschnitte A werden abwechselnd mit Signalabschnitten B ausgesandt, die ausgehend von einer Ausgangsfrequenz $f_{T, B}$ ebenfalls um jeweils einen Frequenzschritt versetzt sind, um so einen Modulationsbereich f_{Sweep} zu überstreichen. Die Frequenzschritte f_{Incr} sind über den Modulationsbereich f_{Sweep} gleich groß, sodass gilt

20

$$f_{Incr} = \frac{f_{Sweep}}{N - 1} .$$

Die beiden so ineinander verwobenen Signalabschnittsfolgen A, B werden ausgesandt und nach dem Empfang der Echosignale separat durch Fouriertransformation und Schwellwerttechnik ausgewertet. Durch die oben erwähnte Kombination der Messergebnisse wird unter Berücksichtigung der Phasendifferenz $\Delta\varphi$ eindeutige Messergebnisse erhalten zu:

25

$$R_0 = \frac{c \cdot \Delta R}{\pi} \cdot \frac{(N-1) \cdot \Delta\varphi - \pi \cdot K}{c - 4 \cdot (N-1) \cdot f_{Shift} \cdot \Delta R} ,$$

$$v_0 = \frac{(N-1) \cdot \Delta v}{\pi} \cdot \frac{c \cdot \Delta \varphi - 4\pi \cdot f_{\text{Shift}} \cdot \Delta R \cdot \kappa}{c - 4 \cdot (N-1) \cdot f_{\text{Shift}} \cdot \Delta R}$$

Figur 2 verdeutlicht, dass die Phasenmessung und die Frequenzmessung an sich mehrdeutig sind, dass aber die Kombination der beiden Messungen zu einem Schnittpunkt der Geraden führt, der die gewünschten Werte für R_0 und v_0 ermitteln lässt.

In einem Beispiel für Automobilanwendungen beträgt die Signalbandbreite $f_{\text{Sweep}} = 150$ MHz, um eine Abstandsauflösung von 1 m zu gewährleisten. Die schrittweise Frequenzmodulation ist in $N = 256$ separate Bursts A oder B aufgeteilt, sodass sich ergibt

$$f_{\text{Incr}} = \frac{150 \text{ MHz}}{255} = 588 \text{ kHz.}$$

Die Messzeit innerhalb eines einzelnen Bursts A oder B beträgt beispielsweise 5 μ s, woraus sich eine Chirp-Dauer der verwobenen Signale von $T_{\text{Chirp}} = 2,56$ ms ergibt, woraus eine Geschwindigkeitsauflösung von

$$\Delta v = \frac{c}{2f_T} \cdot \frac{1}{T_{\text{Chirp}}}$$

zu 2,7 km/h ergibt.

Der Frequenzabstand f_{Shift} wird auf der Basis einer großen Abstands- und Geschwindigkeitsgenauigkeit optimiert. Die größte Genauigkeit entsteht, wenn der Schnittpunkt der R-Geraden und der v-Geraden aus zwei orthogonalen Linien gebildet ist, wie dies in Figur 4 dargestellt ist. Für diese Optimierung ist der Frequenzabstand zwischen den Signalfrequenzen A und B

$$f_{\text{shift}} = - \frac{1}{2} \cdot f_{\text{Incr}}$$

also im vorliegenden Fall 294 kHz. In diesem speziellen Fall ergeben sich die obigen Gleichungen zu

$$\frac{R_0}{\Delta R} = \frac{N-1}{2\pi} \cdot \Delta\varphi - \frac{\kappa}{2},$$

5

und

$$\frac{v_0}{\Delta v} = \frac{N-1}{2\pi} \cdot \Delta\varphi + \frac{\kappa}{2}.$$

10

Es zeigt sich somit, dass mit der erfindungsgemäßen Wellenform in einfacher Weise eine Abstands- und Relativgeschwindigkeitsbestimmung während eines einzigen Chirps möglich ist, also in kürzester Messzeit. Die angegebenen Optimierungen und bevorzugten Ausführungsformen führen zu einfachsten Auswertungen und einem geringen Hardware-Aufwand.

Ansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von Abstand (R) und Relativgeschwindigkeit (v) wenigstens eines von einem Beobachtungspunkt entfernten Objekts mit Hilfe von vom Beobachtungspunkt ausgesandten elektromagnetischen, während eines Messintervalls über einen Modulationsbereich (f_{Sweep}) in ihrer Frequenz verschobenen Signalen in Form von abwechselnd ausgesandten, zueinander einen Frequenzabstand (f_{Shift}) aufweisenden Signalabschnitten (A, B), deren Echosignale nach einer Reflexion an dem Objekt detektiert werden, wobei die Phasendifferenz ($\Delta\varphi$) der aus den jeweiligen Signalabschnitten (A, B) entstandenen Echosignale ermittelt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Signalabschnitte (A, B) über den Modulationsbereich (f_{Sweep}) um jeweils einen Frequenzschritt (f_{Incr}) stufenweise verschoben ausgesandt werden und dass für jeden Signalabschnitt wenigstens ein Abtastwert zur Bestimmung der Phasendifferenz ($\Delta\varphi$) entnommen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Echosignale durch Fouriertransformation und Feststellung der Phasendifferenz der dabei auftretenden, der Frequenz der Echosignale der Signalabschnitte (A, B) entsprechenden Peaks ausgewertet werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine Eindeutigkeit der Messung des Abstandes (R) und der Geschwindigkeit (v) durch Kombination der von Frequenz (κ) und Phasendifferenz ($\Delta\varphi$) abhängenden mehrdeutigen Messungen für Abstand (R) einerseits und Geschwindigkeit (v) andererseits hergestellt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Abtastwerte für die Echosignale der Signalabschnitte (A, B) der in ihrer Frequenz zueinander verschobenen Signale in einem gemeinsa-

men analogen Kanal verarbeitet und erst, nach einer Analog-Digital-Wandlung voneinander getrennt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet,
5 dass der Abstand (f_{Shift}) der beiden Frequenzen über den gesamten Modulationsbereich (f_{Sweep}) gleichbleibt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet,
10 dass für jedes Aussenden der Signalabschnitte (A, B) der beiden Frequenzen die Verschiebung um einen Frequenzschritt (f_{Incr}) vorgenommen wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet,
15 dass das der Frequenzschritt (f_{Incr}) dem Doppelten des Abstandes (f_{Shift}) der beiden Frequenzen entspricht.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet,
20 dass die abwechselnden Signalabschnitte (A, B) kontinuierlich ausgesandt und empfangen werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet,
25 dass zwischen der Aussendung eines Signalabschnitts (A) der einen Frequenz und der Aussendung eines Signalabschnitts (B) der anderen Frequenz ein zeitlicher Abstand eingehalten wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet,
30 dass mehr als zwei Signale verwendet werden, die mit abwechselnden Signalabschnitten und voneinander verschiedenen Frequenzen ausgesandt werden.
11. Vorrichtung zur Bestimmung von Abstand (R) und Relativgeschwindigkeit (v) wenigstens eines von einem Beobachtungspunkt entfernten Objekts

mit Hilfe einer elektromagnetischen Sendeeinrichtung zur abwechselnden Aussendung während eines Messintervalls über einen Modulationsbereich (f_{sweep}) in ihrer Frequenz verschobenen Signalen in Form von abwechselnd ausgesandten, zueinander einen Frequenzabstand (f_{shift}) aufweisenden Signalabschnitten (A, B) und einer Empfangseinrichtung zum Empfang der von dem Objekt reflektierten Signalabschnitte, wobei die Empfangseinrichtung eine Einrichtung zur Feststellung der Phasendifferenz ($\Delta\phi$) der aus den jeweiligen Signalabschnitten (A, B) entstandenen Echosignale aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Signalabschnitte (A, B) über dem Modulationsbereich (f_{sweep}) um jeweils einen Frequenzschritt (f_{incr}) stufenweise verschoben ausgesandt werden und dass in der Empfangseinrichtung für jeden Signalabschnitt wenigstens ein Abtastwert zur Bestimmung der Phasendifferenz ($\Delta\phi$) entnommen wird.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Empfangseinrichtung eine Fouriertransformationsstufe und eine nachgeschaltete Feststelleinrichtung zur Feststellung der Phasendifferenz der in der Fouriertransformationsstufe gebildeten, der Frequenz der Echosignale der Signalabschnitte (A, B) entsprechenden Peaks aufweist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass in der Empfangseinrichtung eine Eindeutigkeit der Messung des Abstandes (R) und der Geschwindigkeit (v) durch Kombination der von Frequenz (κ) und Phasendifferenz ($\Delta\phi$) abhängenden mehrdeutigen Messungen für Abstand einerseits und Geschwindigkeit andererseits hergestellt wird.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, gekennzeichnet durch einen gemeinsamen analogen Kanal für die Verarbeitung der Abtastwerte für die Signalabschnitte (A, B) der in ihrer Frequenz zueinander verschobenen Signale, eine sich daran anschließenden Analog-Digital-Wandler und anschließende separate digitale Auswertungskanäle.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (f_{shift}) der beiden Frequenzen über den gesamten Modulationsbereich (f_{sweep}) gleichbleibt.
- 5 16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass für jedes Aussenden der Signalabschnitte (A, B) der beiden Frequenzen die Verschiebung um einen Frequenzschritt (f_{incr}) vorgenommen wird.
- 10 17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das der Frequenzschritt (f_{incr}) dem Doppelten des Abstandes (f_{shift}) der beiden Frequenzen entspricht.
- 15 18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die abwechselnden Signalabschnitte (A, B) kontinuierlich ausgesandt und empfangen werden.
- 20 19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Aussendung eines Signalabschnitts (A) der einen Frequenz und der Aussendung eines Signalabschnitts (B) der anderen Frequenz ein zeitlicher Abstand eingehalten wird.
- 25 20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 19, gekennzeichnet durch eine elektromagnetische Sendeeinrichtung zur Aussendung von mehr als zwei Signalen in Form von abwechselnden Signalabschnitten mit voneinander verschiedenen Frequenzen.

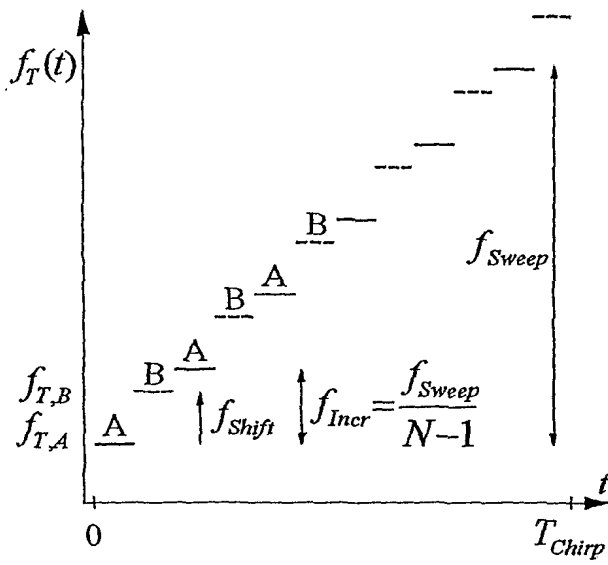


Fig. 1

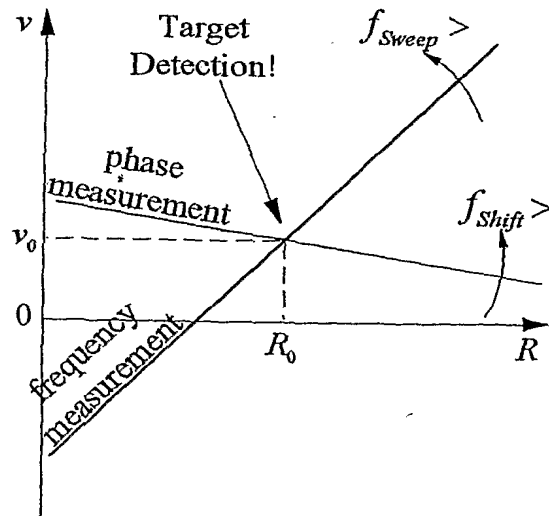


Fig. 2

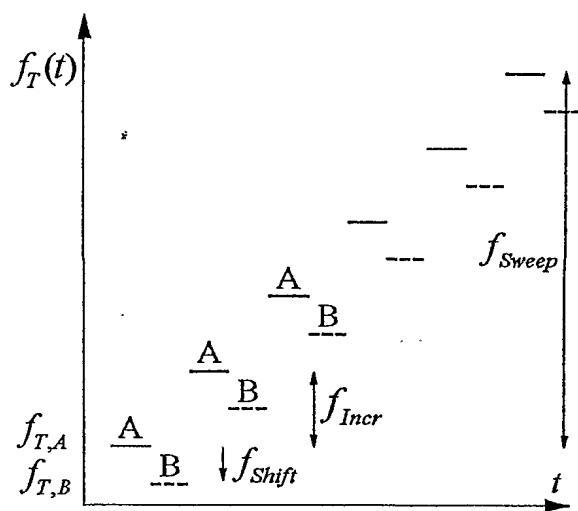


Fig. 3

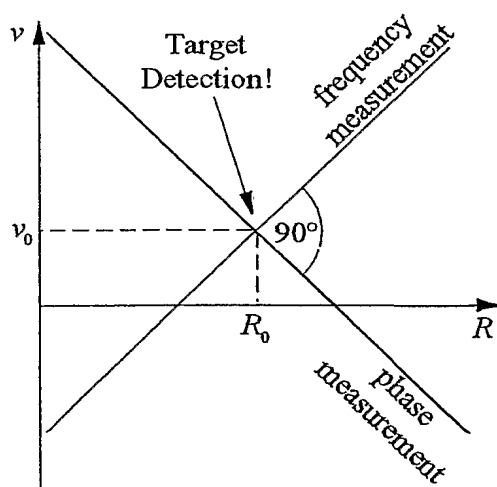


Fig. 4